Applications médicales et industrielles de la Morphologie Mathématique

Serge Beucher
Centre de Morphologie Mathématique
Ecole des Mines de Paris

L'efficacité des outils morphologiques en analyse d'image

• Qu'est-ce qui caractérise les outils morphologiques?

• Pourquoi sont-ils adaptés à la résolution de certains problèmes d'imagerie?

Deux principaux objectifs de l'analyse d'image:

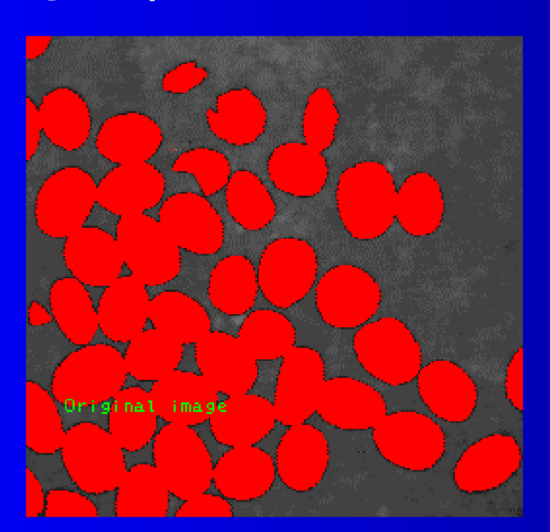
• Obtenir des informations globales

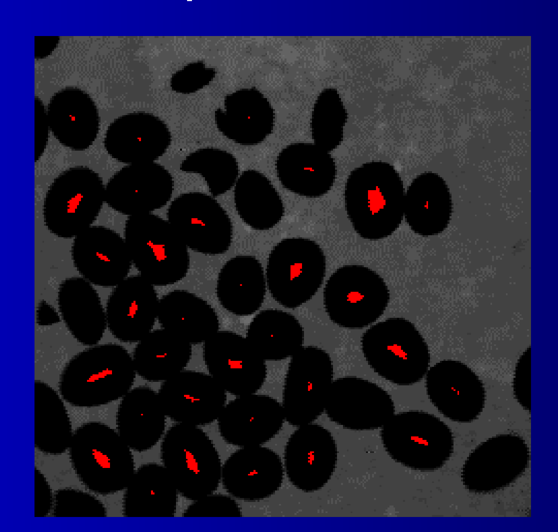
• Obtenir des informations sur des objets d'intérêt présents (ou non) dans l'image

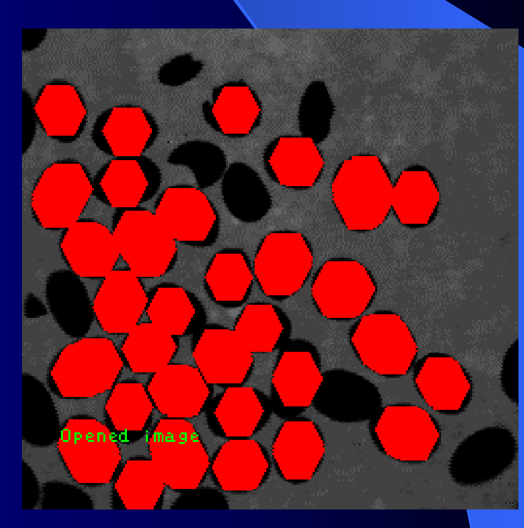
La morphologie mathématique, une méthodologie ensembliste?

La Morphologie Mathématique est constituée d'un ensemble (réduit) d'opérateurs agissant sur des images binaires:

- Érosion, dilatation
- Opérateurs granulométriques
- Quelques transformées « exotiques »



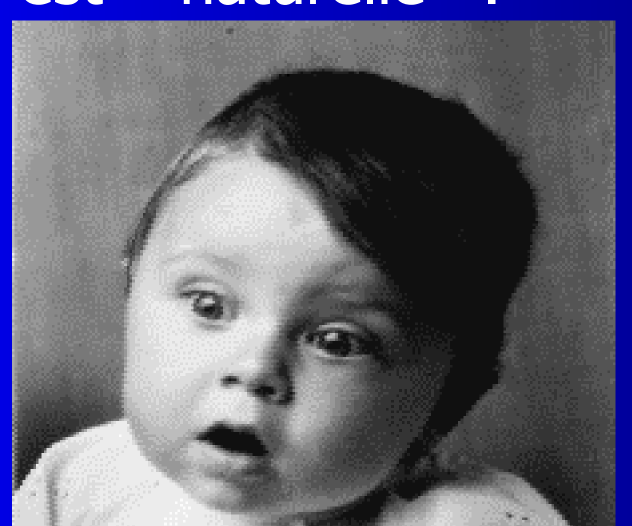




En fait, on peut générer une grande quantité de nouveaux outils en concaténant ces opérateurs de base

Transformations numériques en MM

De plus, les opérateurs binaires peuvent s'étendre à des images numériques (multi-niveaux).
Cette extension des transformations morphologiques à ces images est « naturelle ».





Par ce moyen, on s'affranchit de la nécessité de séparer les objets d'intérêt par des techniques plus ou moins robustes.
C'est particulièrement intéressant lorsqu'on recherche des informations globales sur l'image.

Méthodologie « orientée objet »

Cependant, lorsqu'on analyse le contenu d'une image, on est amené à extraire de l'image des objets d'intérêt.
Cela revient à passer d'une représentation numérique de l'image à une représentation binaire.





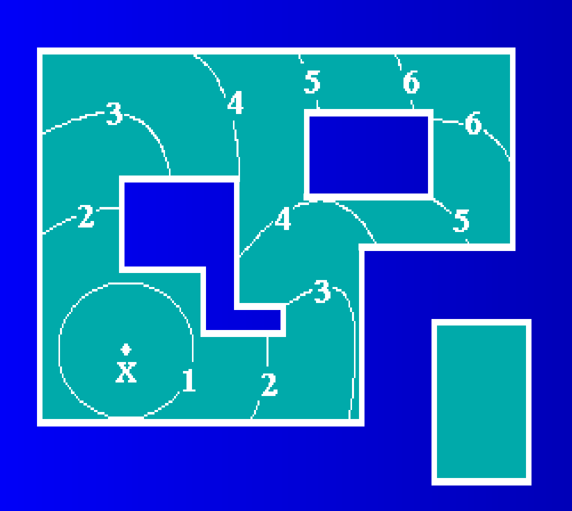
Les opérateurs morphologiques, de par leur capacité à étendre la notion de connexité à des espaces non binaires et à travailler indépendamment sur diverses composantes connexes, engendrent une véritable méthodologie d'analyse d'image « orientée objet ».

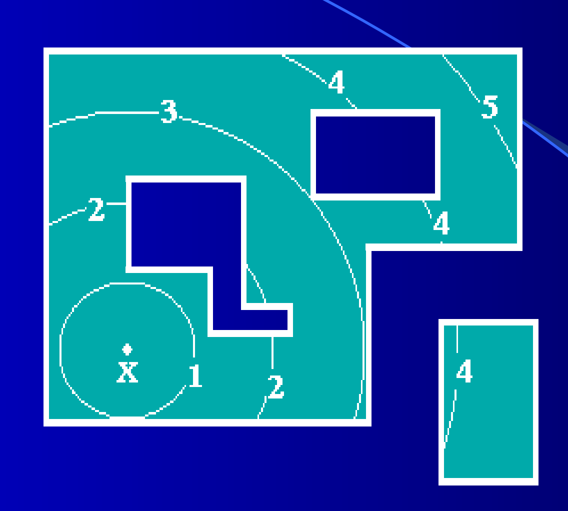
Les outils de la Morphologie Mathématique

Deux grandes classes d'outils morphologiques sont particulièrement efficaces:

- Les outils géodésiques
- Les outils de segmentation

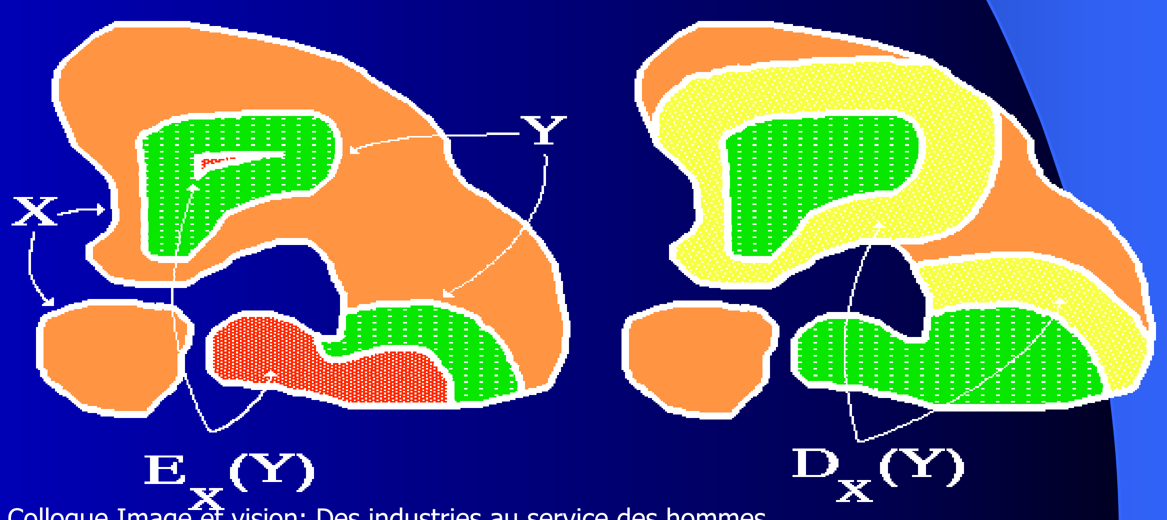
Le contexte géodésique





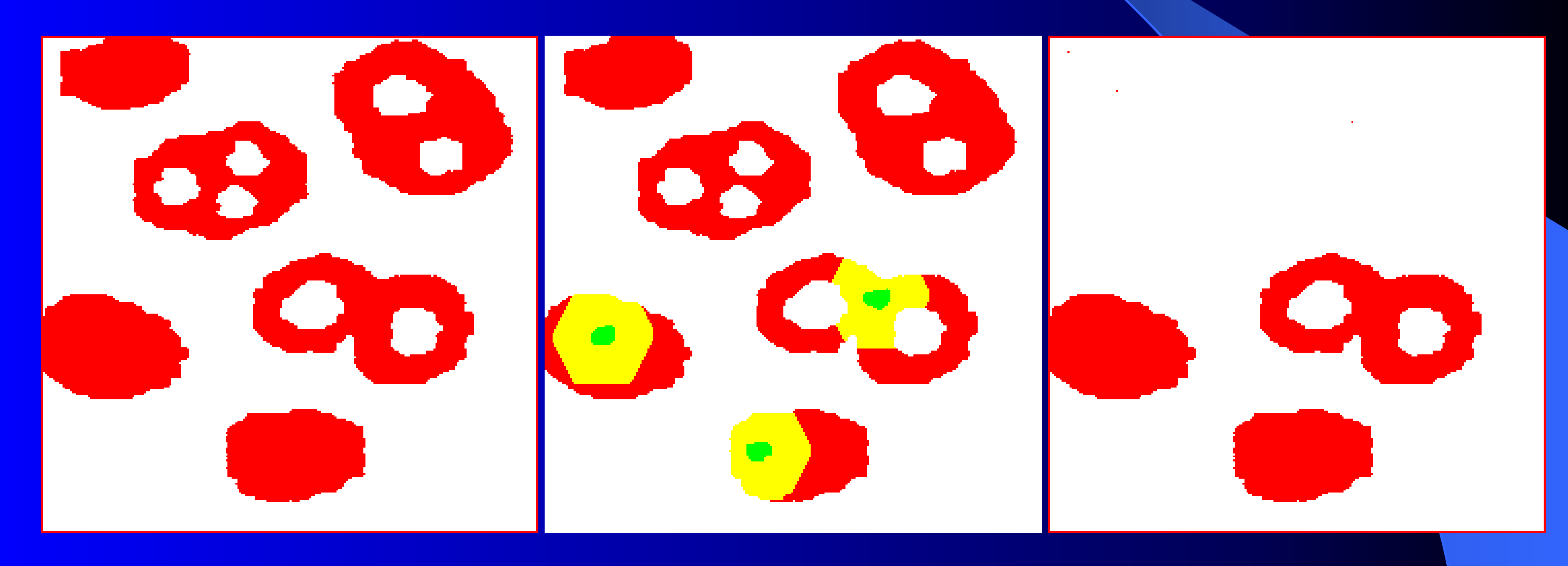
Ces transformations font intervenir une distance géodésique.

L 'espace contraint et impose sa forme et sa topologie à la transformation.



Vers des opérateurs sophistiqués

- Les opérateurs géodésiques sont à la base d'outils puissants comme la reconstruction géodésique.

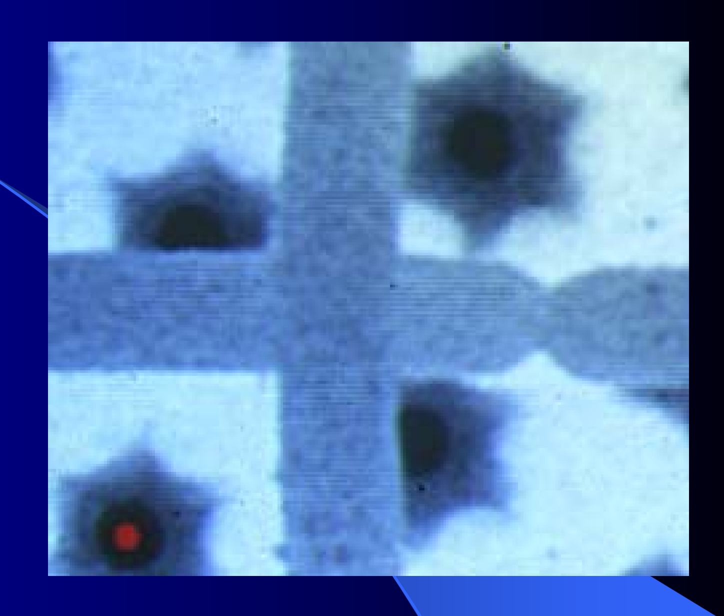


- Opérateurs homotopiques, préservant la connexité.

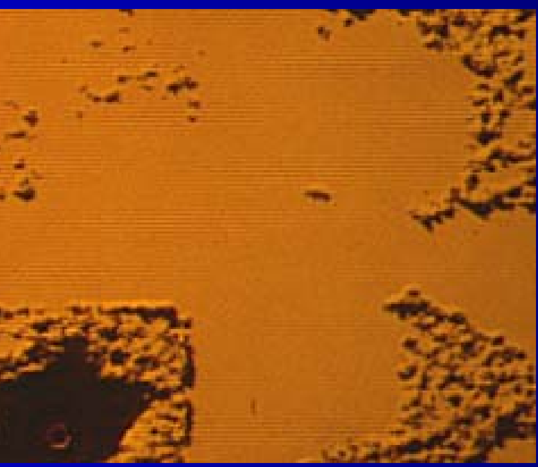
Reconstruction géodésique

Les opérateurs géodésiques appliqués à des images à teintes de gris génèrent de puissantes transformations :

- Reconstruction numérique
- Filtres morphologiques

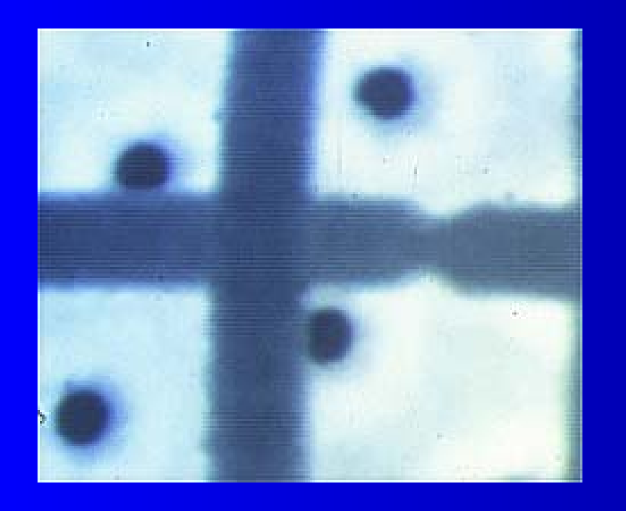








Filtres







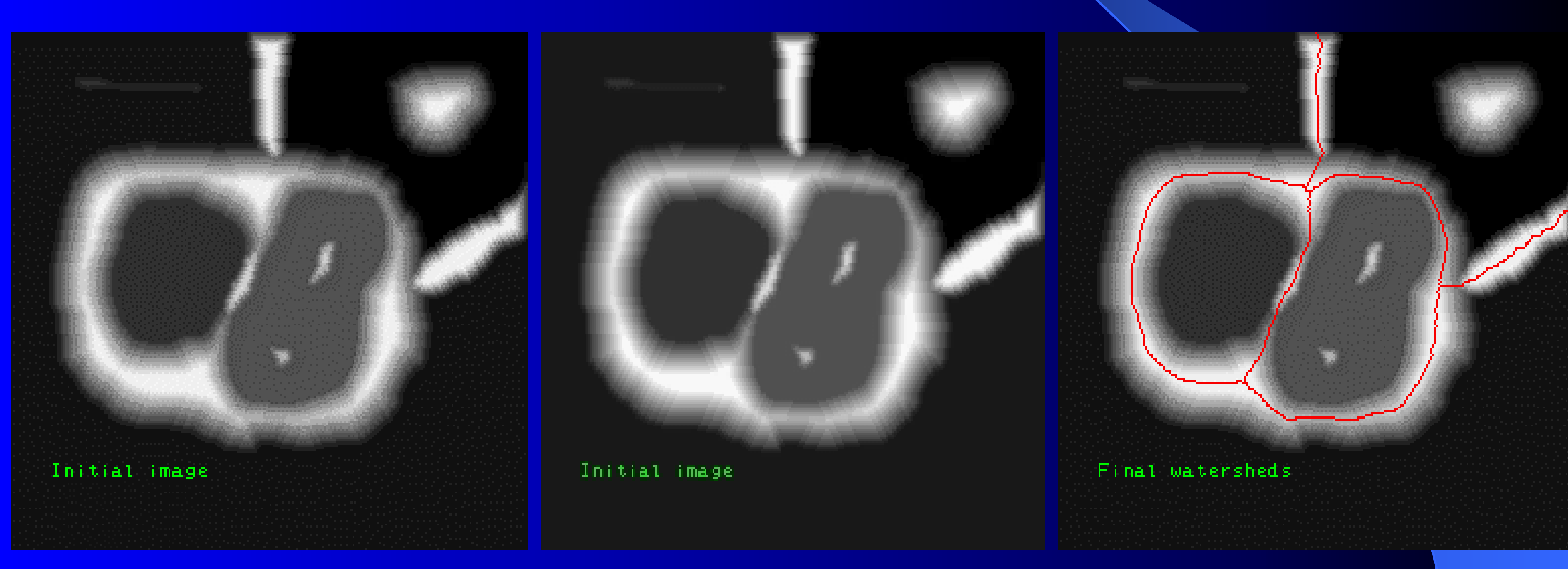


Filtres morphologiques basés sur des reconstructions géodésiques. Préservation complète des structures épargnées par le filtre.

Généralisation des filtres: nivellements

Les machines-outils de segmentation

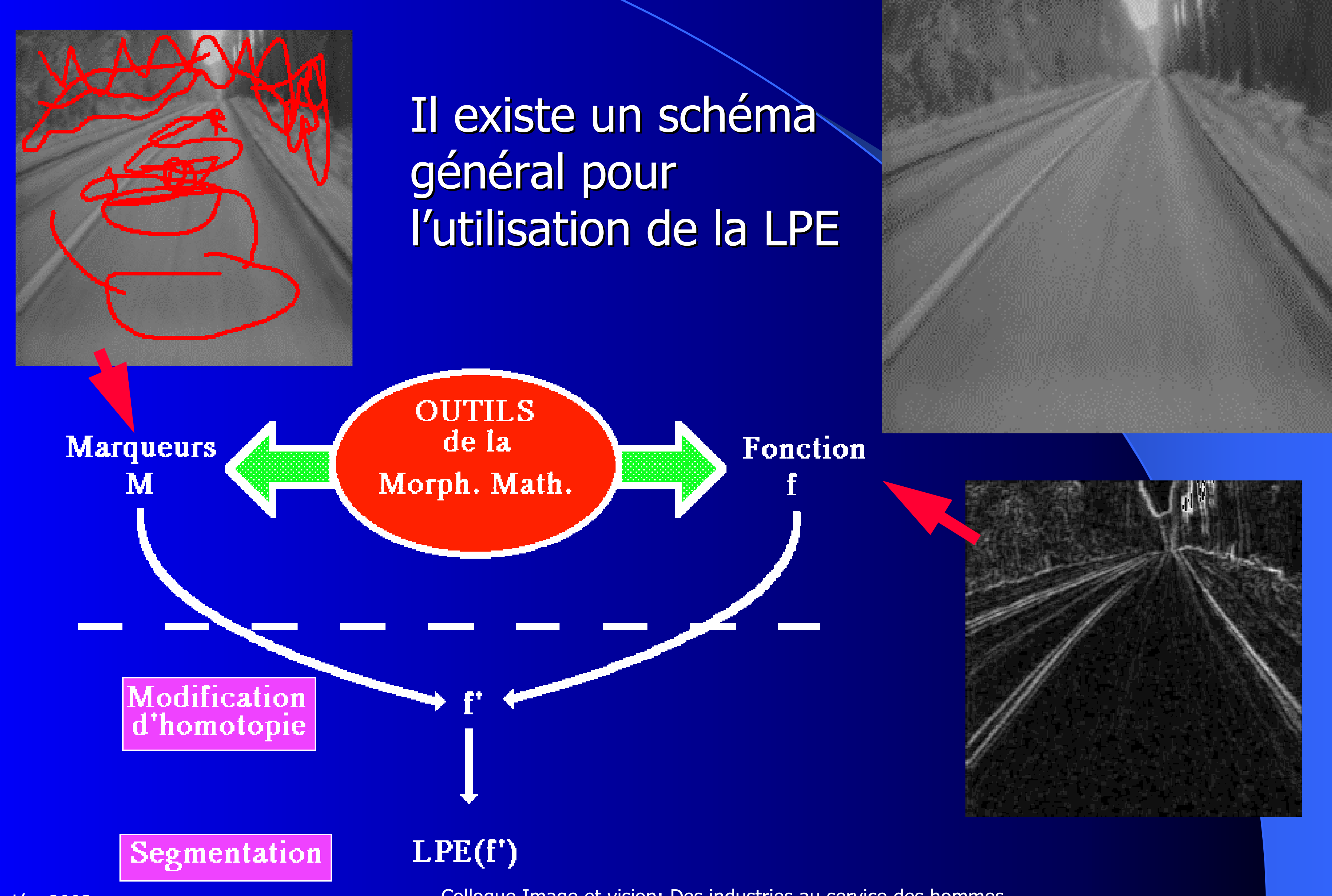
En segmentation d'image, l'outil par excellence s'appelle la Ligne de Partage des Eaux (LPE).



C'est la simulation d'un processus d'inondation

Mode d'emploi de la LPE

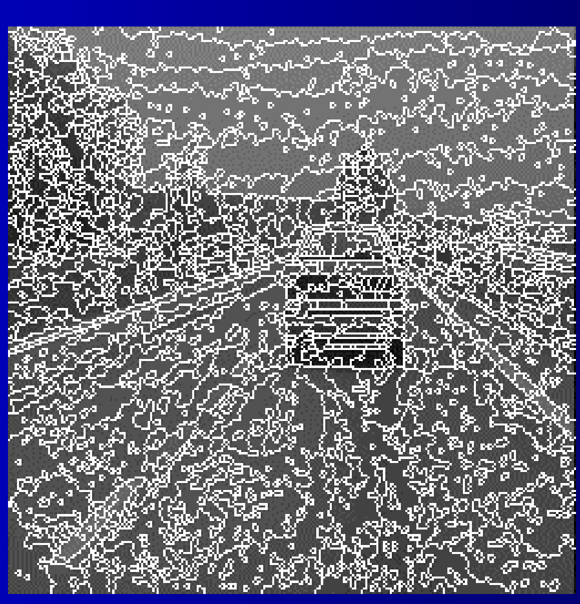
Il existe un schéma général pour l'utilisation de la LPE



Segmentation hiérarchique

Quand la segmentation est difficile, la ligne de partage des eaux permet de réaliser des segmentations hiérarchiques.





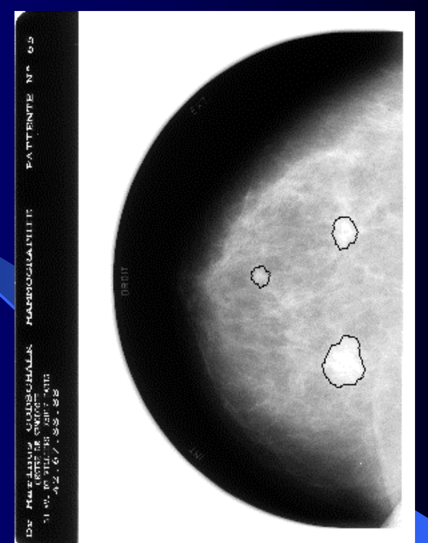


Cette transformation est en fait une ligne de partage des eaux sur un graphe.

Quelques applications

Dans le domaine bio-médical:

- Radiologie numérique
- Bio-puces
- Rétinopathie diabétique

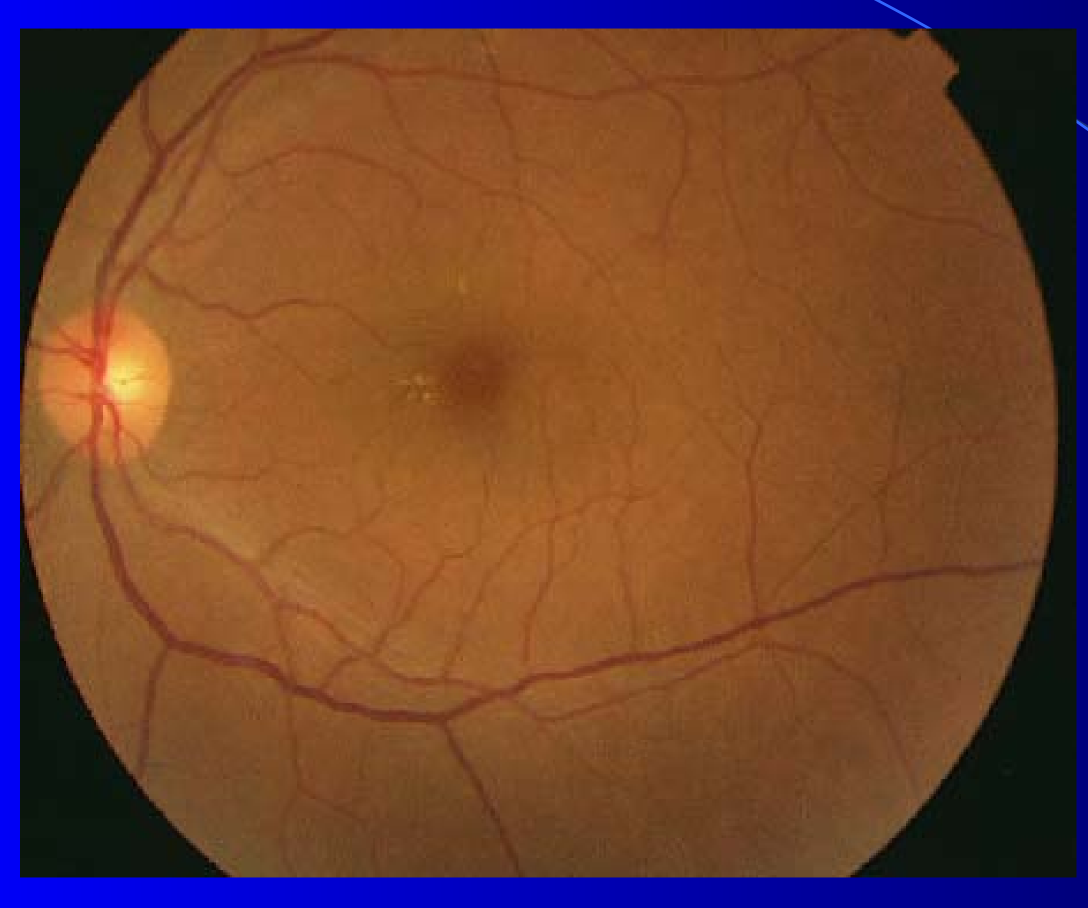


Dans les autres domaines (NTIC, contrôle industriel, robotique,…):

- Indexation par le contenu
- Vision embarquée pour le pilotage d'un drone terrestre
- Découpage d'une scène en mouvement en plans de profondeur
- Imagerie sismique 3D
- Conditions d'éclairage d'une scène

Rétinopathie diabétique

(Hôpital Lariboisière, Paris & ADCIS)



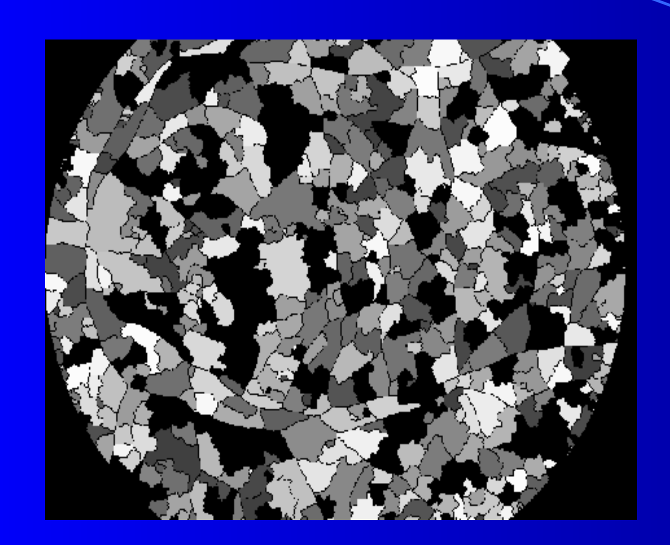
Analyse d'images de fond d'œil prises en éclairage naturel.

Détection de différentes lésions:

- Micro-anévrismes
- Exsudats
- Hémorragies

(travaux réalisés par Thomas Walter)

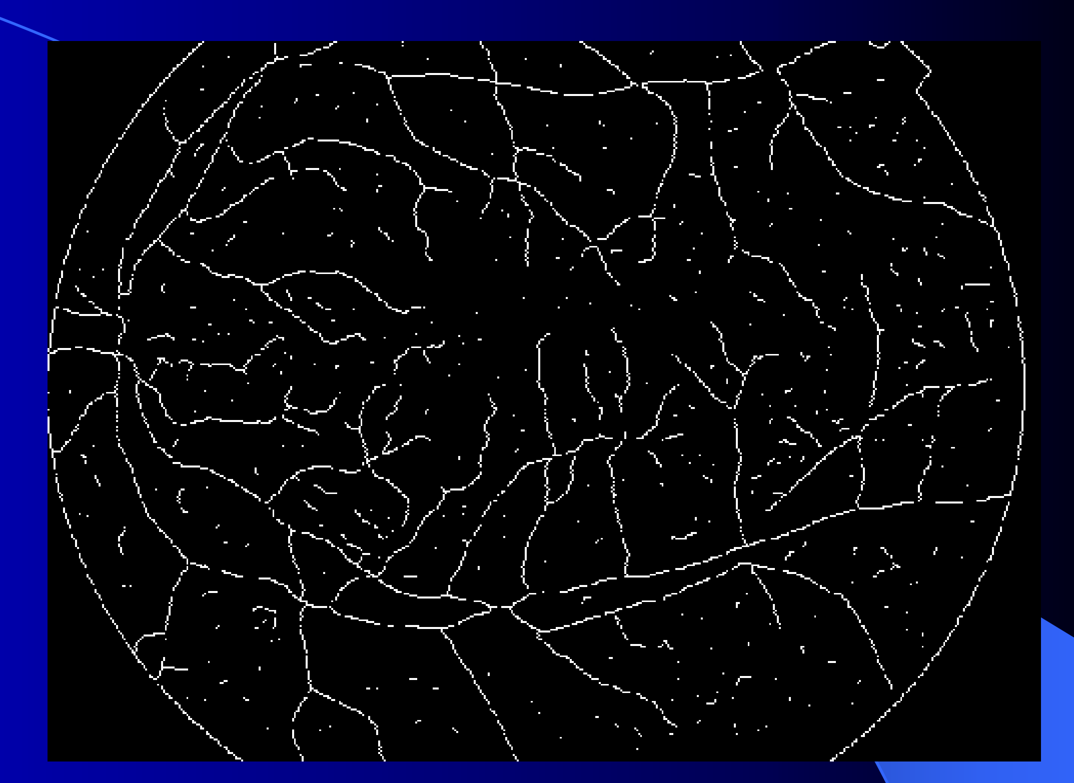
Détection des vaisseaux

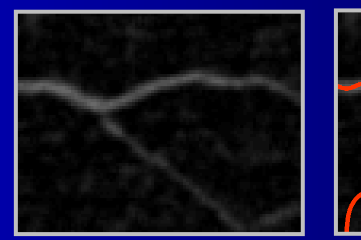


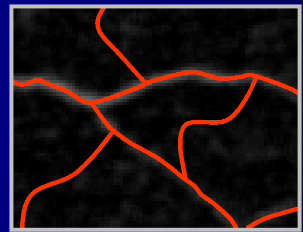
LPE initiale



Chapeau haut-de-forme





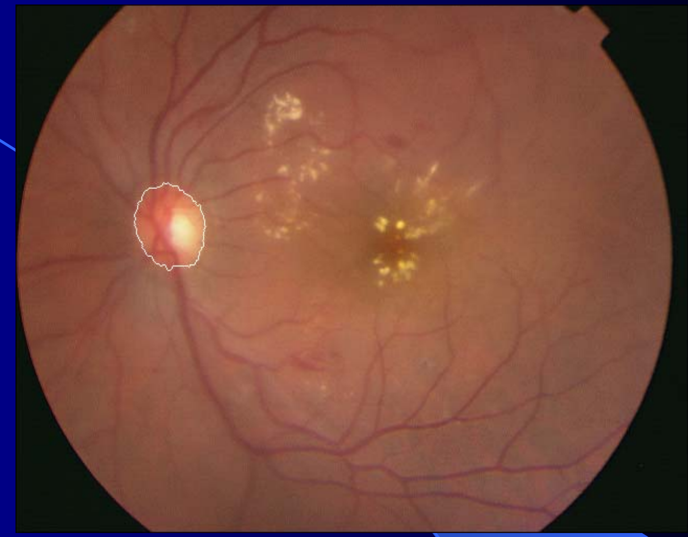


Détection des vaisseaux par analyse des contrastes entre les régions adjacentes.

Détection des autres éléments



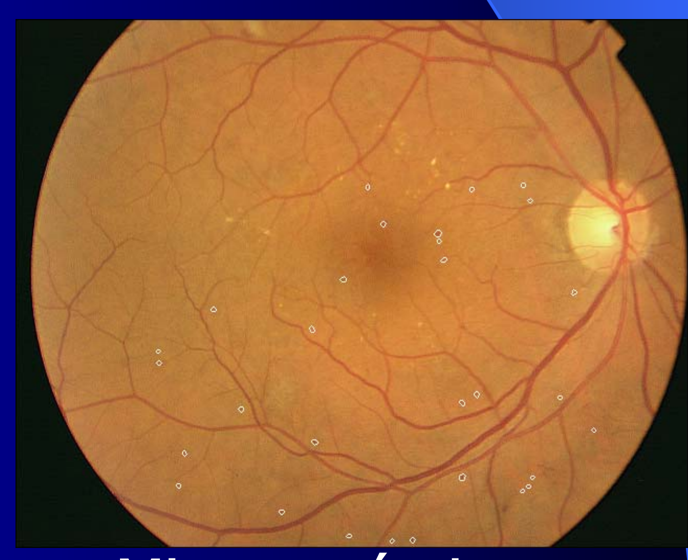
Vaisseaux



Papille



Macula



Micro-anévrismes

Pilotage d'un drone terrestre

(Thales Systèmes Aéroportés)



Extraction et suivi automatique de la route par segmentation hiérarchique



Suivi de la route

Gradient

Lpe

Hiérarchie

Route extraite

(Travaux réalisés par Beatriz Marcotegui et l'auteur)

Suivi de la route



Détection et suivi en temps réel de la route (en rouge, phase d'initialisation, en vert, phase de suivi).

Avant-scène, arrière-plan

(France Telecom)

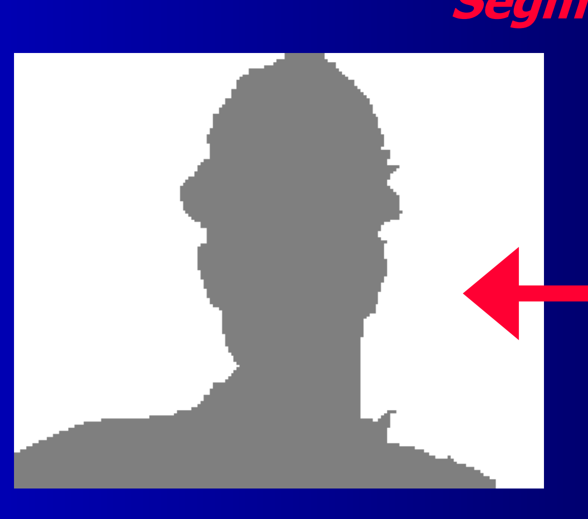






Segmentation

La segmentation de l'image permet la définition de plans de profondeur.

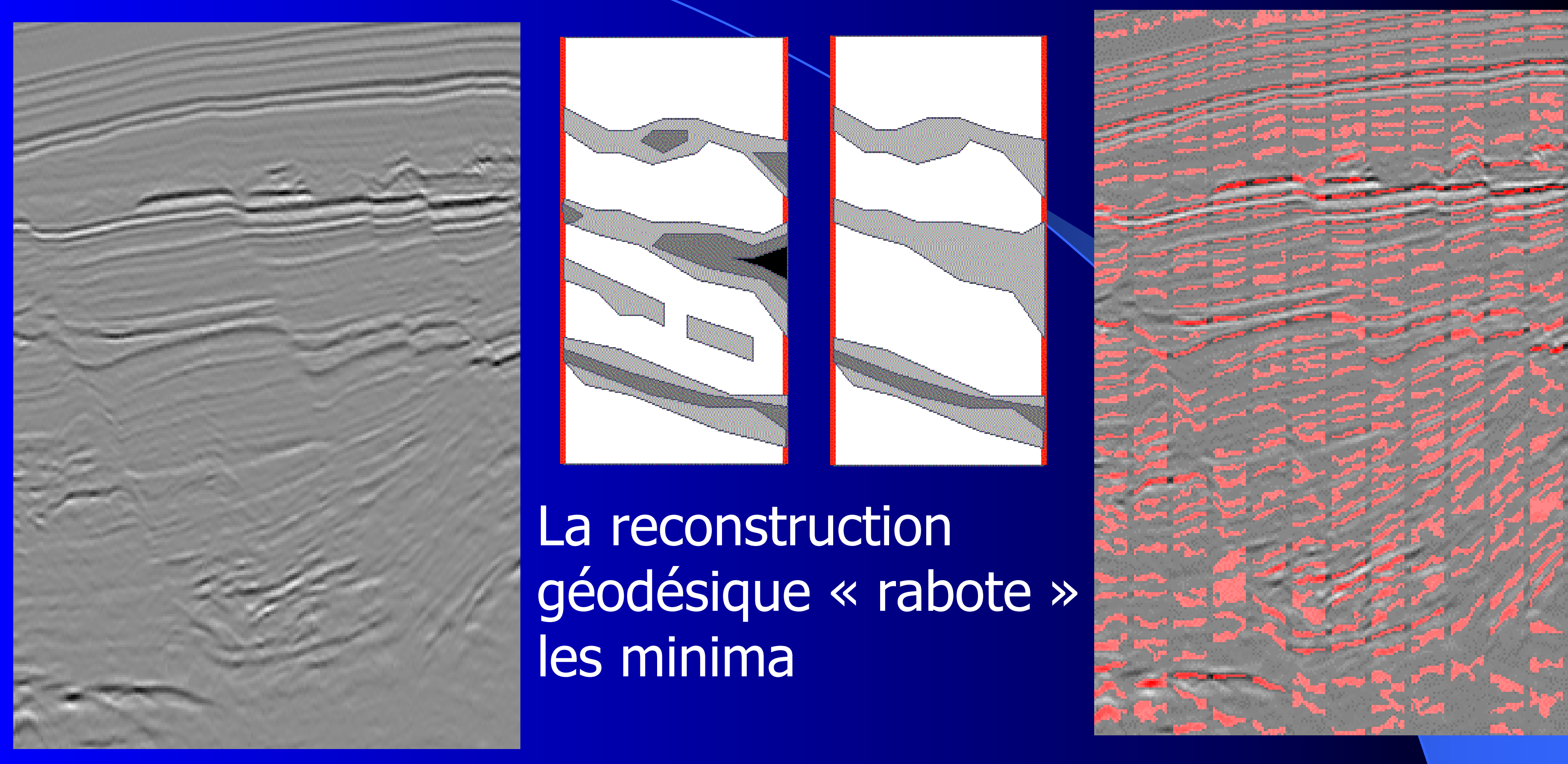




Analyse de l 'erreur et masque

(travaux réalisés par Lothar Bergen)

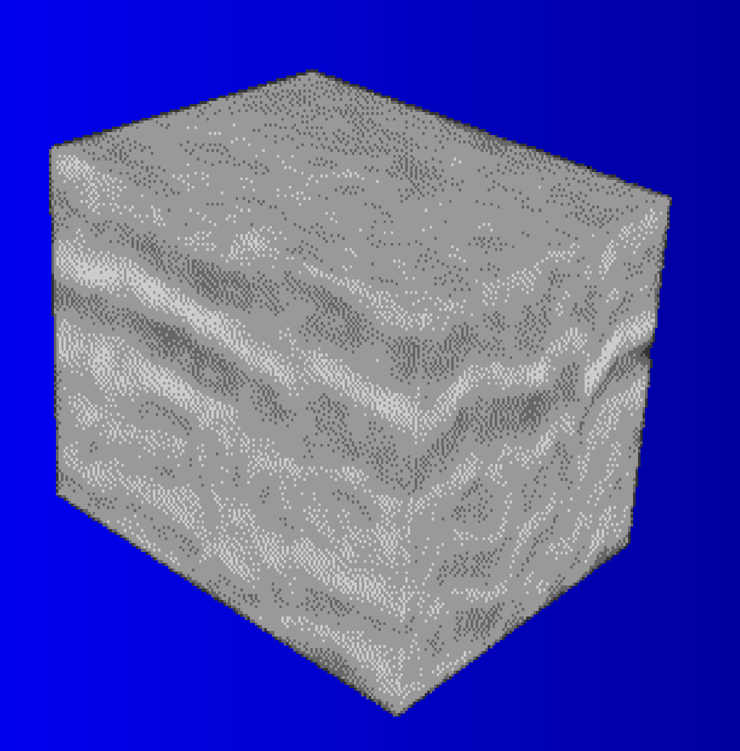
Sismique 3D

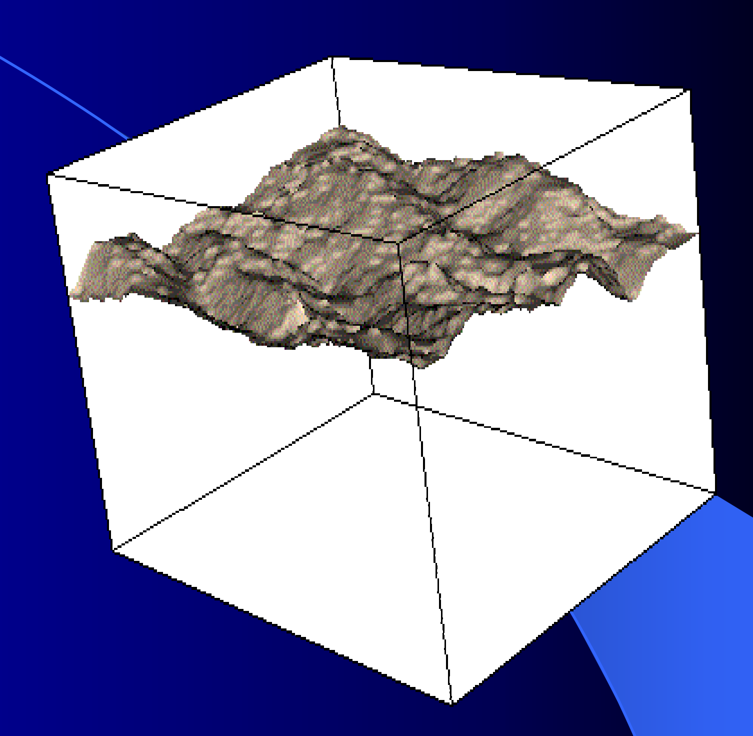


Le traitement est réalisé sur des bandes verticales. Il permet de mettre en évidence les structures traversantes. Ces structures peuvent être utilisées comme marqueurs de la LPE.

(Travaux réalisés par Etienne Decencière et l'auteur)

Visualisation de structures 3D





Cette approche peut se généraliser à des volumes sismiques. On peut ainsi extraire automatiquement les surfaces géologiques et les failles.

Scène d'extérieur ou d'intérieur?

(Kodak)



Comment répondre à une question apparemment toute simple: la scène observée est-elle une scène d'extérieur ou d'intérieur?

Question accessoire: cette image est-elle bien orientée?

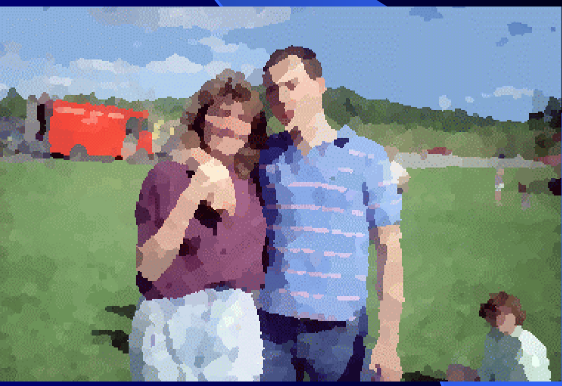


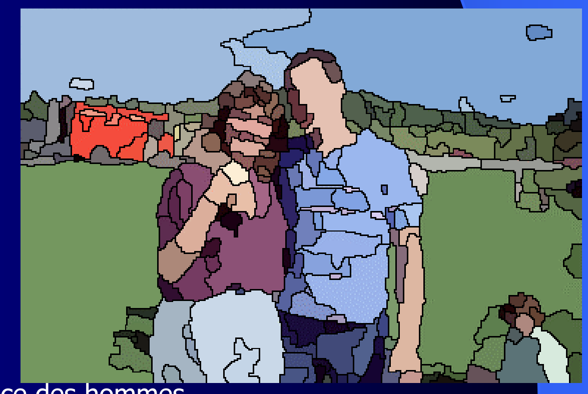
(Travaux réalisés par Valery Risson)

Analyse de l'éclairage d'une scène

- Découpage spatial de l'image en régions de réflectance spectrale homogène.
  - ➔ Analyse indépendante du contenu de l'image.
- Sélection des régions les plus pertinentes en utilisant la hiérarchie de segmentation.
- Utilisation d'un modèle de réflexion.
- Filtrage des régions incompatibles avec le modèle de réflexion.
  - ➔ les ombres.
  - ➔ Le ciel.
  - ➔ les régions achromatiques .

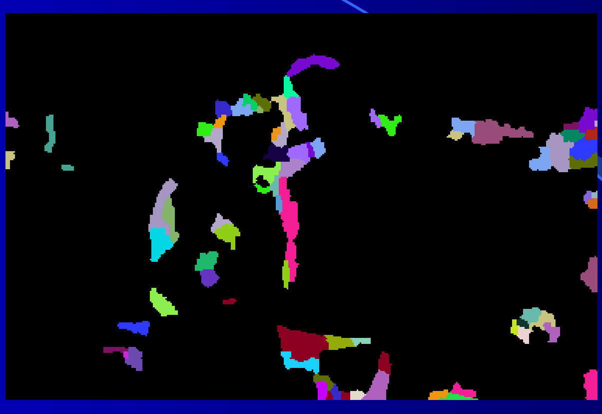






Sélection des régions d'intérêt


Détection du ciel


Détection des ombres

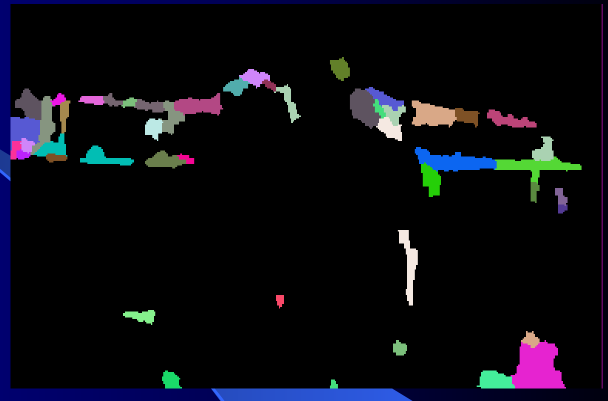
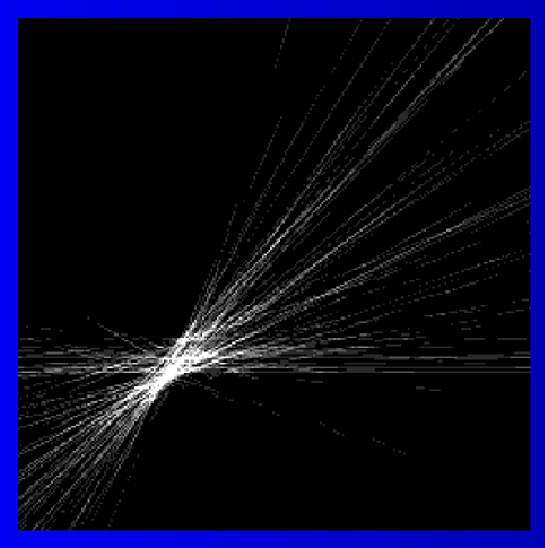

Détection des surfaces achromatiques


Image originale


Régions sélectionnées

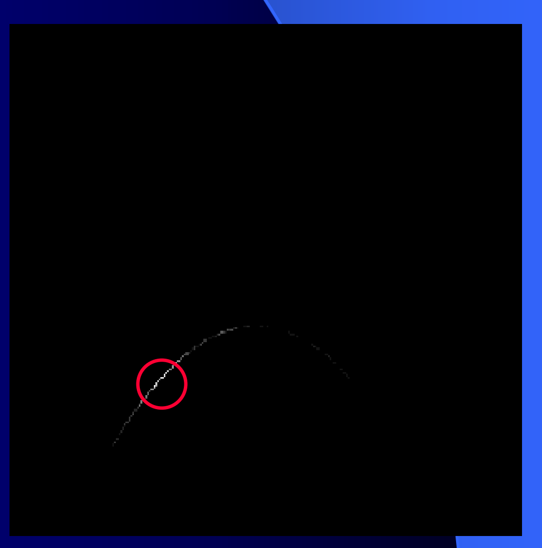
Convergence chromatique

Pour chaque région sélectionnée, le modèle de réflexion utilisé (réflexion dichromatique) montre que les pixels correspondant à cette région de couleur uniforme doivent dessiner une droite dans l'espace couleur.
Ce faisceau de droites converge vers le point du plan chromatique correspondant à l'illuminant.
L'intersection du faisceau de droites avec le locus des radiateurs de Planck fournit les caractéristiques spectrales de l'illuminant.



Droites de convergences

Locus des radiateurs de Planck

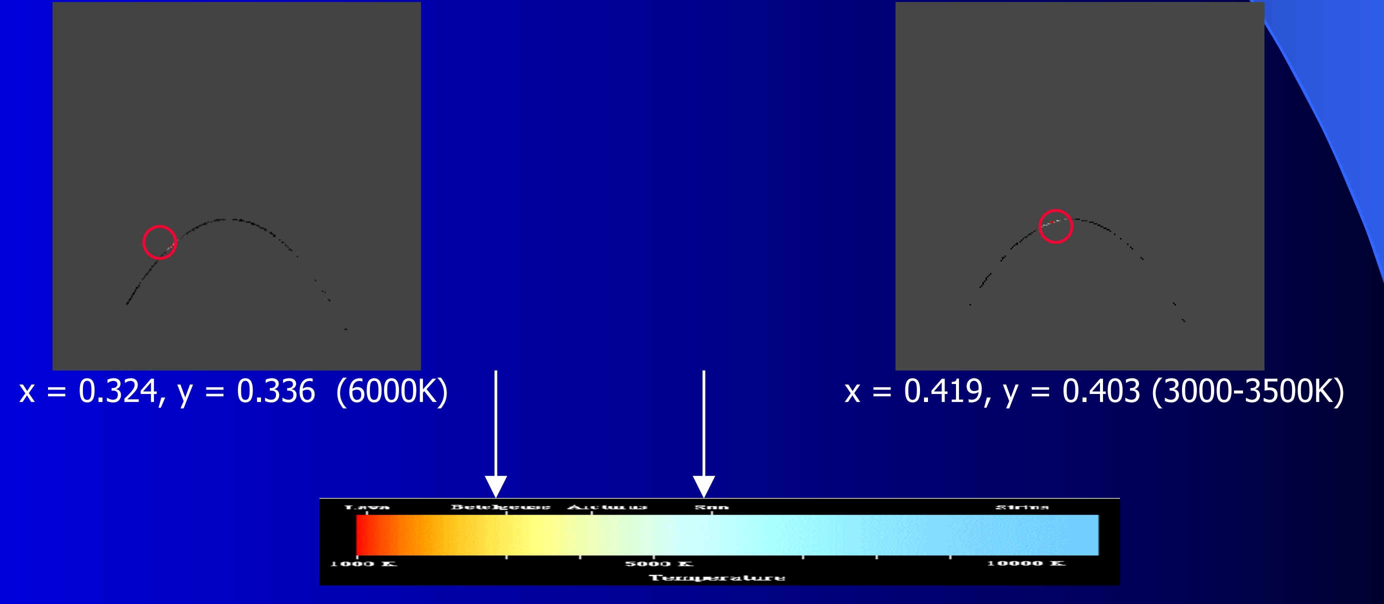


Estimation de l'illuminant

Comparaison





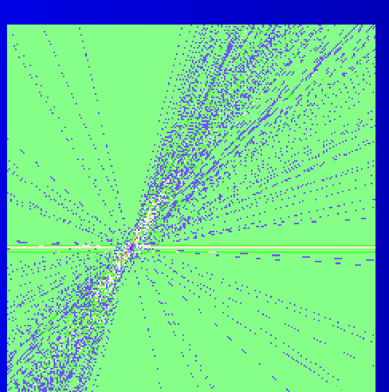


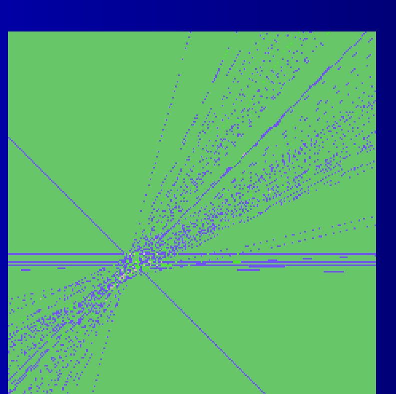
Scènes d'extérieur

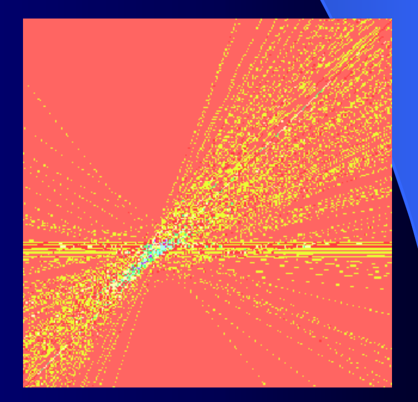








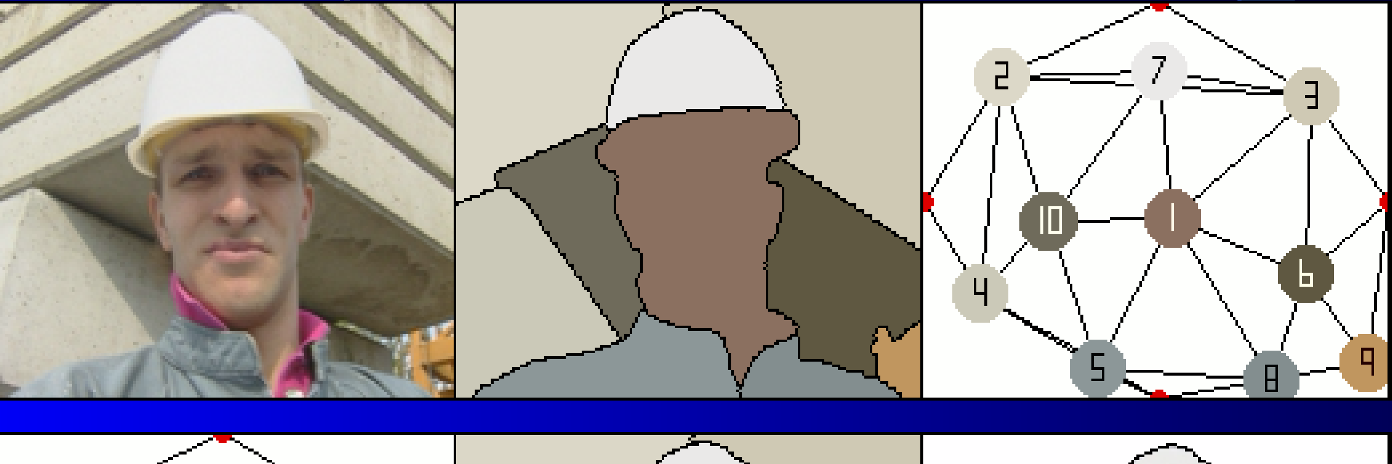




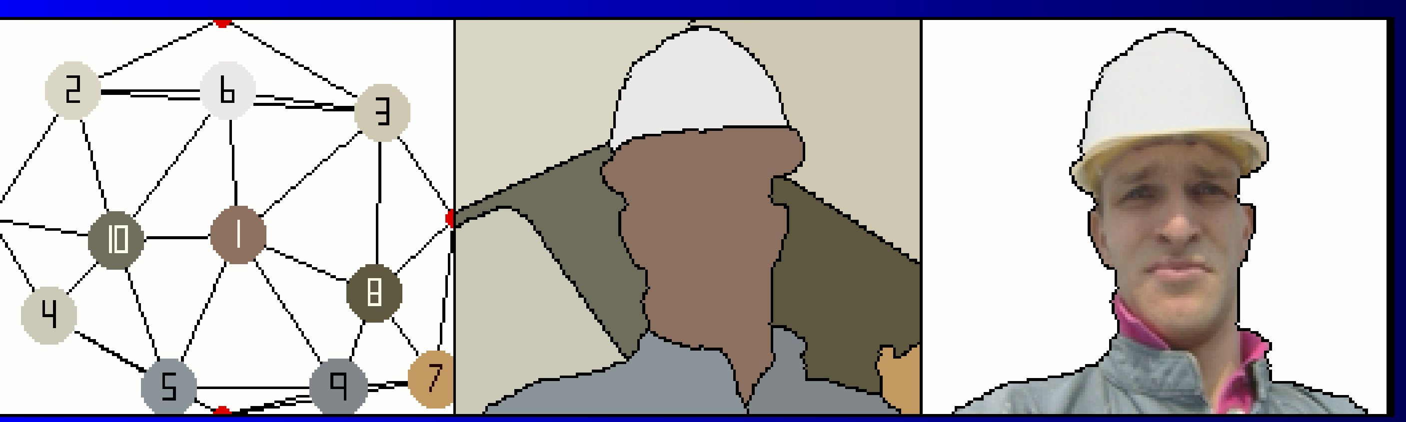
Nouveaux développements

Morphologie sur les graphes

La segmentation permet de partitionner l'image. Les recherches actuelles s'intéressent au suivi et à l'ajustement de partitions dans les séquences.



Séquence originale de partitions 2D

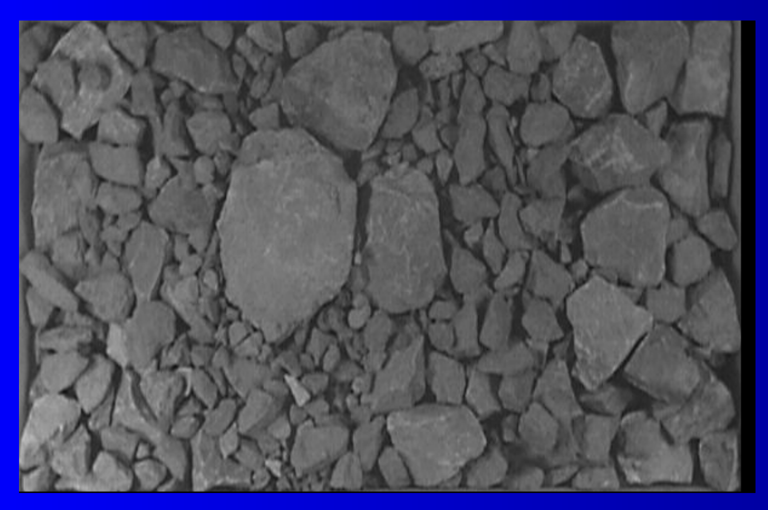


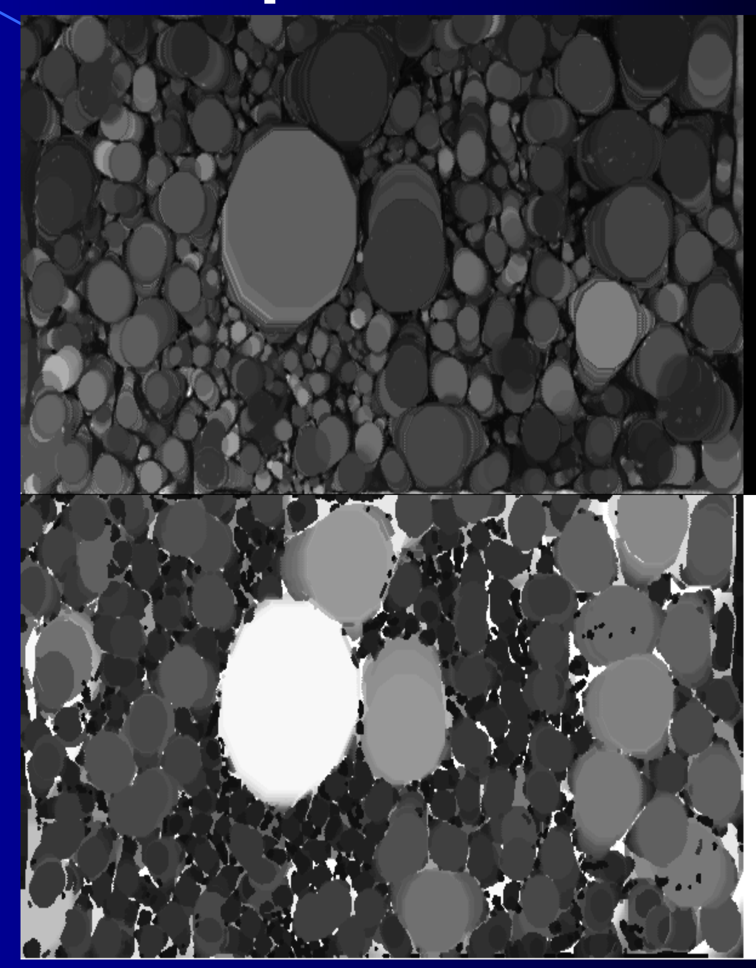
Séquence résultat après ajustement

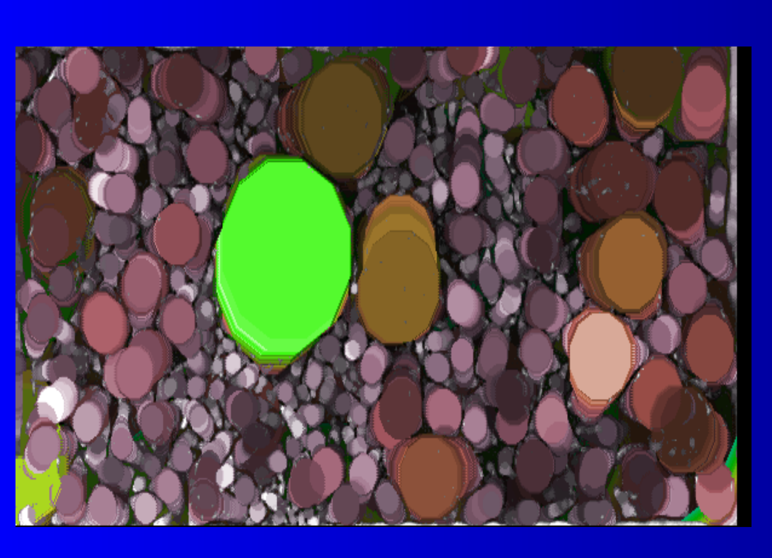
(Travaux réalisés par Cristina Gomila)

Nouveaux développements (suite)

Transformations résiduelles numériques







Pour continuer…

La méthodologie est toujours aussi fructueuse
- Extension au monde 3D
- Extension aux graphes
- Nouveaux développements (résidus)

Les outils restent compréhensibles et manipulables
- On ne change pas d'espace
- On enrichit la boîte à outils avec des transformations accessibles

Les performances vont en s'améliorant de façon spectaculaire

Nouveaux algorithmes, notamment pour la segmentation hiérarchique

Vitesse des algorithmes permettant un traitement temps réel